

Crecimiento y desarrollo inicial de semillas hortícolas sembradas en mezclas de suelo con bio-carbón

Sergio David Parra González, Jhusua David Reina García, Julian F. Cárdenas Hernández

Universidad de los Llanos, kilómetro 12 Vía a Puerto López, Vda. Barcelona, Villavicencio, Meta, Colômbia. E-mails: sdparra@unillanos.edu.co, jhusua@unillanos.edu.co, jfcardenas@unillanos.edu.co

Resumen: La calidad de las plántulas es uno de los aspectos más importantes en el establecimiento de plantaciones hortícolas. El biocarbón es una alternativa para mejorar condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, mostrando potencial como sustrato de crecimiento. Este trabajo es el resultado de tres experimentos en diseño completamente al azar (uno por especie). En cada experimento se evaluaron cinco sustratos de siembra: suelo, turba y tres mezclas suelo (Typic Hapludox) más bio-carbón al 10% (M/M), el bio-carbón se obtuvo a baja temperatura (450 °C), y la materia prima usada fueron cáscaras de maracuyá (*Passiflora edulis*), plátano (*Musa paradisiaca* L.) y naranja (*Citrus sinensis*). Variables de crecimiento y desarrollo se evaluaron en semillas y plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*), maracuyá (*Passiflora edulis*), y papaya (*Carica papaya* L.). El bio-carbón obtenido se caracterizó por tener un pH entre 5.6 y 8.6, y contenidos elevados de calcio (3.0 - 21.0 cmol_c dm⁻³), magnesio (3.0 - 6.0 cmol_c dm⁻³) y potasio (26.79 - 174.52 cmol_c dm⁻³), resultado atribuible a la temperatura de elaboración que favorece la formación de componentes oxidables, carbonatos y óxidos; previniendo pérdida de nutrientes por volatilización. Los tratamientos bio-carbón de maracuyá y bio-carbon de plátano incrementaron el contenido de elementos mayores especialmente potasio (22.00 y 30.00 cmol_c dm⁻³ respectivamente) a niveles que pueden ser deletereos para las plántulas hortícolas. Sin embargo, la mezcla suelo bio-carbón de naranja presentó un comportamiento estadísticamente igual (Prueba SNK) con respecto al tratamiento control (Turba) en las variables altura, longitud de raíz, % de germinación y T50'.

Palabras Clave: Horticultura, Plántulas, Sustratos.

Growth and Initial Development of Horticultural Seeds Sown in Soil Biochar Mixtures

Abstract: The quality of seedlings is one of the most important aspects when establishing horticultural crops. Biochar is an alternative to improve the physical, biological and chemical soil conditions, showing potential as a growth substrate. This paper is the result of three experiments in a completely randomized design (one for every species). Five sowing substrates were assessed in each experiment: soil, peatland and three mixtures with soil (Typic Hapludox) and biochar at 10 percent (M/M). Biochar was prepared using a low temperature (450°C) and its feedstock came from passion fruit (*Passiflora edulis*), orange (*Citrus sinensis*) and plantain peels (*Musa paradisiaca* L.). Growth and development variables were evaluated in seed and seedlings of tomato (*Solanum lycopersicum*), passion fruit (*Passiflora edulis*), and papaya (*Carica papaya* L.). The produced biochar had a pH between 5.6 - 8.6 and higher contents of calcium (3.0 - 21.0 cmol_c dm⁻³), magnesium (3.0 - 6.0 cmol_c dm⁻³) and potassium (26.79 - 174.52 cmol_c dm⁻³), attributable to the low temperature at which biochar was made which favors the formation of oxidizable components, carbonates and oxides, preventing nutrient loss by volatilization. Passion fruit and plantain biochar trials increased the content of major elements, especially potassium (22.00 and 30.00 cmol_c dm⁻³ respectively), at levels which can be harmful for horticultural seedlings. However, the soil - orange biochar mixture had a statistically equal behavior (SNK test) when compared to the control trial (peatland) in the variables height, root length, germination percentage and mean germination time (T50').

Keywords: horticulture, seedlings, substrate.

Introducción

El éxito de las plantaciones hortícolas depende de las fases iniciales de crecimiento y desarrollo (germinación y plantación), etapas influidas por la fisiología de la especie, las condiciones medio ambientales y el sustrato de crecimiento (Parasana, Leua, & Ray, 2013). El uso de sustratos (solos o en combinación), y de contenedores son prácticas comunes en producción de plántulas, debido a que estos mejoran las propiedades físicas y químicas como: porosidad, aireación, permeabilidad, pH, poder tampón de nutrientes, sin olvidar las características biológicas, incidiendo positivamente en el desarrollo inicial de la planta (Kavitha et al., 2018), (Kim et al., 2017), (Brassard et al., 2019).

Diferentes medios de crecimiento son usados en la producción de plántulas, la turba es uno de los usados. Sin embargo, su extracción tiene consecuencias medioambientales no deseadas como: la destrucción de ambientes frágiles y la potencial emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera (Ceglie, Bustamante, Amara & Tittarelli, 2015), (Bullock, Collier & Convery, 2012), siendo estas algunas razones para reducir su uso. Una alternativa son los medios de crecimiento que puedan ser elaborados por los productores o de forma industrial, en el que residuos de origen orgánico sean la materia prima.

El bio-carbón es una tecnología que ha llamado la atención de científicos y agricultores en todo el mundo, en su producción los residuos orgánicos son transformados en sustratos ecológicos con potencial agronómico y de remediación (Latawiec et al., 2017), (Kuppusamy, et al., 2016). Los estudios indican mejoras en la fertilidad cuando es adicionado al suelo, debido a la modificación de algunas propiedades físicas y químicas (Brassard, et al., 2019), (Kavitha, et al., 2018), (Alonzo, Cruz, Jiménez, Ocampo & Parra, 2016), estos resultados permiten inferir el potencial que tiene como sustrato para la producción de plántulas hortícolas.

Este trabajo pretende evaluar el efecto del uso de bio-carbón obtenido de cáscaras de: maracuyá (*Passiflora edulis*), naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) mezclado con suelo sobre la germinación y crecimiento de plántulas de tomate (*Solanum*

lycopersicum), maracuyá (*Passiflora edulis*) y papaya (*Carica papaya L.*).

Materiales y métodos

El trabajo de investigación se dividió en dos etapas, la primera consistió en la elaboración del bio-carbón a partir de las cáscaras de maracuyá (*Passiflora edulis*), naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) y la segunda en la evaluación del bio-carbón en el desarrollo y crecimiento de las plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*), maracuyá (*Passiflora edulis*) y papaya (*Carica papaya L.*).

Obtención de la materia prima. Cáscaras de maracuyá (*Passiflora edulis*) (**CM**), naranja (*Citrus sinensis*) (**CN**) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) (**CP**), fueron seleccionadas y colectadas en el Municipio de Granada (Meta) 3°30'56.6"N 73°43'02.2"W.

Elaboración del Bio-char. El material colectado fue limpiado, cortado en fragmentos pequeños y secado en una estufa de circulación de aire a una temperatura de 70°C, el tiempo de esta operación varió en un rango de 72 a 96 horas, en función del contenido de humedad de los residuos, mediante observación se determinó el fin de esta actividad, inmediatamente, una muestra de 100 g de cada materia prima fue tomada y enviada al laboratorio para su caracterización química.

Una vez seco el material fue carbonizado en una estufa a gas con un tiempo de permanencia de 3 horas a temperatura de 450 °C (Belalcázar, 2013), después de este proceso una alícuota de 100 g de cada tipo de bio-carbón (naranja, plátano y maracuyá) se caracterizó para conocer el contenido de nutrientes al finalizar el proceso.

Caracterización química de la materia prima de los sustratos. Los contenidos de fósforo, calcio, magnesio, potasio, cobre, hierro, manganeso, zinc, boro y azufre, se determinaron realizando digestión húmeda y siguiendo los protocolos de análisis de tejido vegetal consignados en el manual de métodos analíticos de laboratorio de suelos Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC] (2006).

Formulación de sustratos. De la granja experimental de la Universidad de los Llanos ubicada en la vereda Barcelona del municipio de Villavicencio (-73 ° 34'51.51"N, 4 ° 4'24.21"W; 388

m.s.n.m), se recolectó 100 kg de un suelo Typic Hapludox (IGAC, 2014), que fue solarizado y fumigado con una solución de formol al 10% (V/V), posteriormente secado a la sombra, desterronado y tamizado. Este suelo fue usado para ser mezclado en una relación 1:10 (M/M).

Caracterización del bio-carbón, suelo y sustratos de crecimiento. Los siguientes parámetros fueron caracterizados en cada una de las muestras que conformaron los tratamientos evaluados en la fase de vivero: pH en agua (método potenciométrico relación 1:1); M.O. (Walkley Black); S (fosfato monobásico de calcio); Ca, Mg, K, Na (acetato de amonio 1N pH 7,0); P (Bray II); Al (cloruro de potasio 1N); elementos menores (DTPA); B (ácido clorhídrico); la determinación de: M.O., Ca, Mg y Al, se efectuó por titulación; P, B, S, por espectrofotometría uv-bis y Cu, Fe, Mn, Zn, por espectrofotometría de absorción atómica (IGAC, 2006).

Tratamientos evaluados. Tres experimentos en diseño completamente al azar con tres repeticiones fueron realizados con el fin de evaluar cada uno el crecimiento y desarrollo de una especie hortícola, evaluándose cinco sustratos de crecimiento como tratamientos (tabla 1). La unidad experimental estuvo constituida de 40 plántulas de cada especie sembradas en bandejas. El experimento se estableció en una estructura que buscaba asemejar las condiciones de un invernadero, un registrador de datos con exactitud de ± 0.01 ubicado en el centro del área de estudio, midió cada minuto la temperatura y humedad relativa, el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de significancia por el estadígrafo de Student Newman-Keuls (SNK) fue realizada con el software Development Core Team R (R Core Team, 2008).

Tabla 1 - Formulaciones de medios de crecimiento y especies evaluadas.

| Sustrato | Especies evaluadas |
|--|--------------------|
| Suelo + Bio-carbón de plátano | T1 (BP) |
| Suelo + Bio-carbón de Carbón de Maracuyá | T2 (BM) |
| Suelo + Bio-carbón de Naranja | T3 (BN) |
| Suelo sin Bio-carbón | T4 (S) |
| Turba | T5 (T) |

Variables evaluadas. Una prueba de germinación fue realizada antes de la siembra, evaluando cuarenta semillas en cajas de Petri con papel húmedo. Previo a la siembra, las bandejas fueron desinfectadas con solución de hipoclorito a una concentración de 10% (V/V), y una semilla se plantó en cada alveolo. Después del montaje del ensayo iniciaron las evaluaciones de: porcentaje de germinación (PG), T50', velocidad media de germinación (VMG) y tiempo medio de germinación (TMG); continuando 45 días después de la siembra con la medición de altura y diámetro de tallo en cuello de la raíz con pie de rey digital (± 0.01 mm). Finalmente, las plantas fueron secadas en una estufa de circulación de aire a una temperatura de 45 °C para la determinación de la materia seca.

Evaluación microbiológica de los sustratos de crecimiento. En el momento de la extracción de las plantas una muestra de aproximadamente 30 g de sustrato fue tomada por cada tratamiento, con la finalidad de determinar la presencia de hongos fitopatógenos, usándose el método de la dilución del suelo en placa (Moreira, Huising, & Bignell, 2012).

Resultados y discusión

Al comparar los contenidos de nutrientes de la materia prima del bio-carbón (tabla 2) con los cánones de interpretación propuestos por Silva (1999), se observa que los niveles de: P, Ca, Mg, K, en la cáscara se encuentran encima

de los niveles de suficiencia en tejido foliar. Cabe destacar que las plantas de plátano y de naranja tienen altos requerimientos de potasio (Boaventura, Quaggio, Abreu, & Bataglia, 2004), (Martinez, 1998). El potasio tiene alta movilidad en la planta y cumple funciones de transporte de fuentes a sumideros, explicando su alto contenido en el epicarpio (tabla 2) (Maathuis, 2009). En

contraste, el contenido de elementos menores de cada una de las materias primas no superó los niveles de suficiencia (Silva, 1999), a causa del uso poco frecuente de elementos menores en los planes de fertilización en las áreas en que se realizaron las colectas, además en esa región los suelos son deficientes en estos micronutrientes (IGAC, 2014).

Tabla 2. Caracterización de la materia prima usada en la elaboración del bio-carbón.

| ID | Ca | Mg | K | P | Cu | Fe | Mn | Zn | B | S |
|----|--------------------|------|------|------|------|---------------------|-------|-------|-------|---------|
| | g kg ⁻¹ | | | | | mg kg ⁻¹ | | | | |
| CM | 8.50 | 0.80 | 7.60 | 0.05 | 4.50 | 51.00 | 8.50 | 14.00 | 24.41 | 647.38 |
| CP | 2.10 | 0.70 | 48.9 | 0.10 | 3.50 | 20.00 | 52.50 | 19.00 | 23.74 | 999.51 |
| CN | 3.00 | 1.00 | 28.9 | 0.10 | 3.00 | 65.50 | 16.00 | 99.50 | 16.65 | 1892.58 |

ID: identificación. CM: cascaras de Maracuyá, CP: cascaras de plátano, CN: cascaras de naranja, fuente: datos de la investigación.

Después de convertir la materia prima en bio-carbón se observa un incremento en la concentración de carbono orgánico, elementos mayores (bases), fósforo y pH (tabla 3), sin embargo esta tendencia no fue observada en el contenido de elementos menores; el aumento del carbono orgánico se debe a la reducción de H y O por la evaporación del agua adsorbida (Novak, et

al., 2009), la baja temperatura usada en la elaboración (450 °C), aumentó la concentración de elementos mayores; la volatilización de P, K, Ca, Mg sucede a temperaturas superiores a 700 °C. Sin embargo, cuando las altas temperaturas son usadas en el proceso de elaboración el contenido de elementos menores aumenta (Lehmann & Joseph, 2015).

Tabla 3. Contenido de nutrientes en el suelo y biocarbón usados en las mezclas.

| ID | M.O. | P | pH | Al | Ca | Mg | K | Na | Cu | Fe | Mn | Zn | B | S | Tex |
|----|------|--------|-----|-----|------|------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|--------|-----|
| S | 31 | 1.20 | 4.5 | 2.4 | 0.8 | 0.10 | 0.09 | 0.01 | 0.85 | 27.50 | 1.70 | 0.30 | 0.77 | 0.51 | FA |
| BP | 494 | 350.20 | 8.7 | 0.3 | 3.00 | 3.00 | 174.52 | 1.13 | 1.20 | 21.25 | 35.00 | 9.20 | 4.58 | 152.73 | - |
| BM | 525 | 362.83 | 8.0 | 0.3 | 5.00 | 6.00 | 110.00 | 1.23 | 0.80 | 25.00 | 120.0 | 45.00 | 5.04 | 393.89 | - |
| BN | 507 | 289.10 | 5.6 | 0.4 | 21.0 | 3.00 | 26.79 | 1.14 | 1.80 | 5.00 | 40.00 | 4.90 | 4.01 | 218.51 | - |

ID: identificación de la muestra, S: suelo, BP: bio-carbón de plátano, BM: Bio-carbón de maracuyá, BN: biocarbón de naranja. M.O.: g dm⁻³, pH: adimensional, Al, Ca, Mg, K, Na: cmol_c dm⁻³, P, Cu, Fe, Mn, Zn, B, S: mg dm⁻³, Tex: textura. fuente: datos de la investigación.

Los contenidos de nutrientes y pH del Bio-carbón obtenido en este experimento fueron comparables con los reportados por otros autores que usaron bajas temperaturas en la elaboración (Alonzo, Cruz, Jiménez, Ocampo, & Parra, 2016), (Novak, et al., 2009), (Jha, Biswas, Lakaria, & Rao, 2010), estos mismos autores han reportado el aumento en el contenido de nutrientes, como los observados en este trabajo cuando el bio-carbón es adicionado al suelo.

Inicialmente el suelo usado en este trabajo tenía bajo contenido de elementos mayores y menores, alta acidez potencial e intercambiable Instituto Colombiano Agropecuario [ICA] (1992) (tabla 3), indicando una baja fertilidad natural, después de aplicar los tratamientos hubo disminución en los diferentes tipos de acidez (tabla 4).

Tabla 4. Contenido de nutrientes después de las mezclas bio-carbón suelo.

| ID | M.O | P | pH | Al | Ca | Mg | K | Na | Cu | Fe | Mn | Zn | B | S | Tex |
|--------|-----|-----------|----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-------|------|-----|-----|-------|-----|
| BN | 64 | 45.1 | 6. | 0.1 | 3.1 | 0.7 | 7.00 | 0.1 | 1.1 | 335.6 | 5.75 | 1.3 | 2.5 | 24.25 | FAr |
| | | | 6 | 5 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 7 | A | | | |
| B M | 82 | 176. 3 | 7. | 0.1 | 2.3 | 1.3 | 22.0 | 0.5 | 1.3 | 208.7 | 10.0 | 4.0 | 3.3 | 129.5 | FAr |
| | | | 5 | 0 | 0 | 0 | 8 | 5 | 5 | 5 | 0 | 5 | 5 | A | |
| BP | 95 | 166. 9 | 7. | 0.1 | 1.3 | 0.7 | 30.0 | 0.4 | 1.3 | 239.3 | 12.8 | 3.9 | 3.6 | 66.30 | FAr |
| | | | 7 | 0 | 0 | 0 | 8 | 5 | 7 | 5 | 5 | 4 | A | | |

ID: identificación de la muestra, BN: bio-carbón de naranja, BM: bio-carbón de Maracuyá, BP: bio-carbón de plátano. M.O.: $g\ dm^{-3}$, pH: adimensional, Al, Ca, Mg, K, Na: $cmol_c\ dm^{-3}$, P, Cu, Fe, Mn, Zn, B, S: $mg\ dm^{-3}$, Tex: textura. fuente: datos de la investigación.

Es evidente el aumento de la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de nutrientes después de mezclar el suelo con bio-carbón al 10% (tabla 4), tal efecto es explicado a la presencia de componentes oxidables como anhídrido celulosa, polisacáridos y alcoholes, la baja condensación de estructuras aromáticas y la poca formación de grafito, resultado de la baja temperatura usada en la pirolisis (Novak, et al., 2009).

El aumento en el pH y la reducción del aluminio intercambiable (tabla 4) puede ser explicado a la formación de carbonatos y óxidos de Ca, Mg, y K del proceso de pirolisis, estos óxidos reaccionan con el aluminio y los hidrogeniones presentes en el suelo, este efecto también lo reportó (Alonzo, Cruz, Jiménez, Ocampo, & Parra, 2016).

Los incrementos en el contenido de nutrientes originados por los tratamientos evaluados son el resultado de las reacciones de disolución, precipitación y lixiviación de las sales solubles cuando el bio-carbón entra en contacto con el suelo, estas reacciones ocurren porque el bio-carbón es termodinámicamente inestable en condiciones oxidativas (Joseph, et al., 2010).

El contenido de K en el sustrato después de aplicar los tratamientos puede ser calificado como alto en la mezcla suelo bio-carbón de plátano (BP) y en la mezcla suelo bio-carbón de maracuyá (BM) (tratamientos 1 y 3, respectivamente) (tabla 4). Es importante recordar que los altos contenidos de sales de K, Na, y Mg pueden afectar la germinación de semillas de plantas no halófitas como el de la mayoría de las hortalizas (Tobe, Zhang, & Omasa, 2003).

En los tres experimentos realizados el tratamiento 1 BP tuvo un efecto deletéreo en el crecimiento y desarrollo de las plántulas; la variable porcentaje de germinación presentó diferencias significativas (tabla 5); siendo más alta en las mezclas BN y T (tratamientos 3 y 5) en el experimento 1 (especie tomate), tratamiento cuatro (sólo suelo) en el experimento 2, en el experimento 3 (especie maracuyá) no se presentó diferencia entre los tratamientos, a pesar de esto, la germinación en los tres experimentos fue inferior a la de la prueba de germinación realizada en laboratorio (tabla 6).

Tabla 5 - Crecimiento y desarrollo de las especies evaluadas en los diferentes experimentos.

| Especie 1 Tomate | | | | | | |
|---------------------------|---------|---------|--------|-----------|--------|--------|
| Trat | Ger | T50´ | Dia | Alt | LoR | MST |
| T1 BP | 0.00 a | - | - | - | - | - |
| T2 BM | 6.67 a | 15.33 a | - | - | - | - |
| T3 BN | 30.00 b | 15.33 a | 1.25 b | 87.91 b | 3.51 a | 0.04 b |
| T4 S | 8.33 a | 14.33 a | 0.61 a | 48.36 a | 2.02 a | 0.01 a |
| T5 T | 36.67 b | 12.67 a | 0.97 c | 66.08 c | 7.82 b | 0.02 a |
| Especie 2 Papaya | | | | | | |
| Trat | Ger | T50´ | Dia | Alt | LoR | MST |
| T1 BP | 0.00 a | - | - | - | - | - |
| T2 BM | 3.33 a | 17.00 a | - | - | - | - |
| T3 BN | 32.50 a | 19.33 a | 1.37 a | 51.02 b | 3.53 b | 0.05 b |
| T4 S | 35.00 b | 17.67 a | 1.30 a | 28.68 a | 0.96 a | 0.02 a |
| T5 T | 6.67 a | 13.00 a | 1.00 a | 43.33 b | 6.29 c | 0.02 a |
| Especie 2 Maracuyá | | | | | | |
| Trat | Ger | T50´ | Dia | Alt | LoR | MST |
| T1 BP | - | - | - | - | - | - |
| T2 BM | - | - | - | - | - | - |
| T3 BN | 3.33 a | - | 0.28 a | 16.92 a b | 5.10 b | 0.02 a |
| T4 S | 3.33 a | 15.33 a | 0.67 a | 42.60 b c | 2.70 a | 0.03 a |
| T5 T | 6.67 a | 16.00 a | 0.75 a | 58.70 c | 5.90 b | 0.03 a |

Trat: tratamiento, BP: bio-carbón de plátano. BM: bio-carbón de Maracuyá, BN: bio-carbón de naranja, S: suelo, T: turba, Ger: porcentaje (%), T50´ días, Dia: diámetro cm, Alt: altura cm, LoR: longitud de raíz (cm), MST: materia seca total g. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) por la prueba Student Newman-Keuls (SNK).

Tabla 6 - Resultados Prueba de germinación de las especies evaluadas

| ESPECIE | % GERMINACIÓN | T50´ |
|----------------|----------------------|-------------|
| Tomate | 91.67 | 3.00 |
| Papaya | 25.83 | 14.67 |
| Maracuyá | 57.5 | 7.00 |

T50´:días, fuente: datos de la investigación.

El parámetro T50' varió de 12.67 a 19.33 semillas, y no presentó diferencias estadísticas en ninguno de los experimentos evaluados (tabla 5), en el experimento 1 el diámetro del tallo y la altura de la planta fue mayor en la mezcla BN y T (tratamientos 3 y 5, respectivamente), la longitud de raíz en T y la materia seca total en BN; en el experimento 2 no hubo diferencia estadística en el diámetro del tallo, la altura fue superior estadísticamente en BN y T, longitud de la raíz fue mayor en T y la materia seca total en BN; nuevamente en el experimento 3 los tratamientos BN y T permitieron la mayor longitud de la raíz, y en el tratamiento T se obtuvo la mayor altura de las plantas.

De forma general, la turba (tratamiento 5) y la mezcla suelo bio-carbón de naranja (tratamiento 3) permitieron el mejor desempeño de las variables evaluadas en cada uno de los experimentos realizados, sin embargo, este desempeño no fue satisfactorio.

Los diferentes sustratos de crecimiento no presentaron hongos patógenos asociados a enfermedades relacionadas a hongos causantes del damping-off, enfermedad de interés, que afecta a hortalizas en estado de plántulas; esto se puede explicar al aumento de la actividad biológica de los sustratos producida por la adición de bio-char, que puede generar condiciones similares a las de suelos supresivos (Scheuerell, Sullivan, & Mahaffee, 2005), (Jha, Biswas, Lakaria, & Rao, 2010) (Lehmann & Joseph, 2015).

El potasio es conocido por ser un elemento esencial que mitiga el efecto de diferentes tipos de estrés abiótico, por tener funciones biofísicas y bioquímicas en la planta (Cakmak, 2005), sin embargo, al comparar el contenido de este elemento en las mezclas evaluadas su disponibilidad fue la más alta en BM y BP (tabla 4), tratamientos en los que las plantas no se desarrollaron (tabla 5); La despolarización parcial del plasmalema reduce la capacidad de absorción de Na, Ca, Mg (antagonismo de iones) y generar su deficiencia, y esto ocurre cuando hay una alta disponibilidad de potasio en el suelo o medios de crecimiento (Barker & Pilbeam, 2007). Igualmente, altas concentraciones de sales afectan la germinación, prolongando su periodo y reduciendo su porcentaje, debido a la reducción del potencial osmótico, que afecta el potencial hídrico, situación que se puede interpretar como una "sequía fisiológica" (Cuartero & Fernández, 1999), (Fanti & Pérez, 2004), (Taiz & Zeiger, 2013).

Las condiciones ambientales afectan la germinación; la temperatura influye en la absorción de agua de la semilla y otras reacciones bioquímicas, la foto-conversión del fitocromo es un factor que aumenta o reduce la germinación y es dependiente de la temperatura (Heschel, et al., 2007), en las especies estudiadas la mayor germinación se obtiene cuando la temperatura se encuentra en los rangos de 20 a 25 °C en tomate (Vallejo & Estrada, 2004) y 20 a 30 °C para el maracuyá (Osipi & Nakagawa, 2005). La temperatura y humedad relativa en que se desarrolló este trabajo en algunas ocasiones superaron las consideradas óptimas para la fase inicial de las plantas evaluadas, esto también puede explicar las diferencias observadas en la prueba de germinación (tabla 6) y esta variable en los tres experimentos realizados (tabla 5).

Conclusiones

La materia prima usada influye en el contenido de nutrientes que tiene el bio-carbón.

La mezcla suelo más bio-carbón de naranja al 10% (M/M) tuvo un comportamiento similar a la de la turba en la producción de plántulas hortícolas.

En el caso del bio-carbón obtenido de plátano y maracuyá la relación 10% (M/M) tiene un efecto deletéreo en el crecimiento y desarrollo inicial de plántulas, permitiendo pensar que la relación ideal es menor a la usada en el presente trabajo.

Agradecimientos

A la dirección general de investigaciones de la Universidad de los Llanos por la financiación del proyecto de investigación.

Referencias

- Alonzo, G. L., Cruz, D. A., Jiménez, M. D., Ocampo, D. A., & Parra, G. S. D. (2016). Biochar como enmienda en un oxisol y su efecto en el crecimiento de maíz. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19 (2), 341-349.
- Barker, A., & Pilbeam, D. (2007). *Handbook of plant nutrition* (2 ed.). Boca Raton: CRC Press.

- Belalcázar Serrano, S. (2013). *Evaluación del Biocarbón derivado de Cascarilla de Arroz como Potenciador del Establecimiento y Proliferación de Bacterias en Suelos no Perturbados*. Monografía de Graduação (59f). Universidad ICESI, Facultad de Ciencias Naturales Biología, Santiago de Cali, Colômbia.
- Brassard, P., Godbout, S., Lévesque, V., Palacios, J. H., Raghavan, V., Ahmed, A., Houge, J., Jeanne, T., & Verma, M. (2019). Biochar for soil amendment In: Jeguirim, M., & Limousy, L. (Eds.), *Char and Carbon Materials Derived from Biomass: Production, Characterization and Applications*. (Chap. 4, pp. 110-138). Elsevier.
- Boaventura, P. R. R., Quaggio, J. A., Abreu, M. F. & Bataglia, O. C. (2004). Balanço de nutrientes na produção de mudas cítricas cultivadas em substrato. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26 (2), 300-305.
- Bullock, C. H., Collier M. J., & Convery, F. (2012). Peatland, their economic value and priorities for their future management- the example of Ireland. *Land Use Policy*, 29, 921-928.
- Cakmak, I. (2005). The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168, 521-530.
- Ceglie F, G., M, A, Bustamante., Amara, M, B., & Tittarelli, F. (2015). The challenge of peat substitution in organic seedling production: optimization of growing media formulation through mixture design and response surface analysis. *PLOS one*, 10 (6), 1-14.
- Cuartero, F., & Fernández, R. (1999). Tomato and Salinity. *Scientia Horticulture*, 78, 83-125.
- Fanti, S., & Pérez, S. (2004). Processo germinativo de sementes de paineira sob estresse hídrico e salinidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39 (9), 903-909.
- Foundation for Statistical Computing. (2008). *R Core Team: A Language and Environment for Statistical Computing* [Programa de computador]. Vienna: Foundation for Statistical Computing. Recuperado de <http://www.R-project.org>.
- Heschel, M. S., Selby, J., Bulter, C., Whitelam, G. C., Sharrock, R. A., & Donohue, K. (2007). A new role for phytochromes in temperature-dependent germination. *New Phytologist*, 174, 735-741.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2006). *Métodos analíticos de laboratorio de suelos* (6 ed.). Bogotá: Imprenta nacional.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2014). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de vichada, escala 1:100.000*. Bogotá: Imprenta nacional.
- Instituto Colombiano Agropecuario. (1992). *Fertilización en Diversos Cultivos Quinta Aproximacion*. Bogotá: Produmedios.
- Jha, P., Biswas, A. K., Lakaria, B. L., & Rao, S. (2010). Biochar in agriculture – prospects and related implications. *Current Science*, 99 (9), 1218-1225.
- Joseph, S. D., Camps-Arbestain, M., Lin, Y., Munroe, P., Chia, C. H., Hook, V. J., & Amonette, J. E. (2010). An investigation into the reactions of biochar in soil. *Australian Journal of Soil Research*, 48, 501-515.
- Kavitha, B., Laxma, R. P. V., Kim, B., Soo, L. S., Pandey S. K., & Kim, K. H. (2018). Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: a review. *Journal of Environmental Management*, 227, 146-154.
- Kim, H. S., Kim, R. K., Yang, J. E., Ok, Y. S., Kim, W. I., Kunhikrishnan, A., & Kim, K. H. (2017). Amelioration of horticultural growing media properties through rice hull biochar incorporation. *Waste Biomass Valor*, 8, 483-492.
- Kuppusamy, S., Thavamani, P., Megharaj, M., Venkateswarlu, K., & Naidy, R. (2016). Agronomic and remedial benefits and risks of applying biochar to soil: current knowledge and future research directions. *Environment International*, 86, 1-12.
- Latawiec, A. E., Królcyzyk J. B., Kubón, M., Szwedziak, K., Drosik, A., Polanczyk, E., Grotkiewicz, K., & Strassburg, B. N. N. (2017). Willingness to adopt biochar in agriculture: the producer's perspective. *Sustainability*, 9, 1-13.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). *Biochar for environmental management science, technology,*

- implementation* (2 ed., 944p). London: Taylor and Francis.
- Maathuis, J. M. (2009). Physiological functions of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology*, 12 (3), 250-258.
- Martinez Garnica, A. (1998). *El cultivo del platano en los llanos orientales* (Manual instruccional, n. 1). Villavicencio: Corpoica.
- Moreira, S, F., Huising, E, I., & Bignell, D, E. (2012). *Manual de biología de suelos tropicales: muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo el suelo* (pp.149-162). México: Instituto Nacional de Ecología.
- Novak, M, J., Busscher, J, W., Laird, D, L., Ahmedna, M., Watts, W, D., & Niandou, S, A. (2009). Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Science*, 174 (2), 105-112.
- Osipi, F, E., & Nakagawa, J. (2005). Avaliação da potencialidade fisiológica de sementes de maracujá- doce (*Passiflora alata dryander.*) submetidas ao armazenamento. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 27(1), 52-54.
- Parasana, J. S., Leua, H, N., & Ray, N, R. (2013). Effect of different growing medias mixture on germination and seedlings growth of mango (*Mangifera indica L.*) cultivars under net house conditions. *The Bioscan*, 8 (3), 897-900.
- Silva, D, J. (1999). *Análise de Plantas: Amostragem e Interpretação* (folheto). Petrolina: Embrapa Semiárido.
- Scheuerell, S., Sullivan, D., & Mahaffee, W. (2005). Suppression of seedling damping-off caused by *Pythium ultimum*, *p. irregulare*, and *Rhizoctonia solani* in container media amended with a diverse range of pacific northwest compost sources. *Phytopathology*, 95 (3), 306-315.
- Taiz, L., & Zeiger, L. (2013). *Fisiologia Vegetal*. Porto Alegre: Artmed.
- Tobe, K., Zhang, L., & K., Omasa. (2003). Alleviatory effects of calcium on the toxicity of sodium, potassium and magnesium chlorides to seed germination in three non-halophytes. *Seed Science Research*, 13, 47-54.
- Vallejo, C, F., & Estrada, S, E. (2004). *Producción de Hortalizas de Clima Cálido*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.

Recebido em: 20/03/2018

Aceito em: 01/10/2019